E/CONF.39/A/162
23 Oct.1962
ORIGINAL : RUSSIAN

КОНФЕРЕНЦИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ
ПО ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ НАУЧНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ
ДЛЯ УДОВЛЕТВОРЕНИЯ ПОТРЕБНОСТЕЙ МЕНЕЕ РАЗВИТЫХ РАЙОНОВ

ПУНКТ ПОВЕСТКИ ДНЯ: A.4.3.3

СССР

МЕСТНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В СЕЛЬСКИХ РАЙОНАХ

Составил А. Г. ЗАХАРИН,
доктор технических наук,
руководитель отдела Общей энергетики
Энергетического института им.
Г. М. Кржижановского.

Документы, составленные для Конференции Организации Объединенных Наций по вопросу о применении научных и технических знаний для удовлетворения потребностей менее развитых районов, служат в качестве рабочих документов для этой Конференции. Они опубликованы в том виде, в каком были представлены их составителями, и их содержимое и выраженные в них мнения принадлежат их составителям (см. примечания на оборотной стороне).

ПРИМЕЧАНИЯ

1. Документы, включенные в число материалов, принятых для обсуждения на общих сессиях, будут в распоряжении делегатов Конференции на следующих официальных языках Организации Объединенных Наций: русском, английском, испанском и французском.

2. Документы, включенные в число материалов, принятых для обсуждения на специализированных сессиях, будут в распоряжении делегатов Конференции только на одном из этих официальных языков.

3. Резюме всех документов в том виде, в каком они были представлены их составителями, будут в распоряжении делегатов Конференции на следующих официальных языках Организации Объединенных Наций: русском, английском, испанском и французском.

4. До открытия Конференции документы и резюме не будут выпущены для общего распространения. Они будут опубликованы заблаговременно только в ограниченном числе экземпляров и исключительно для правительственных делегаций и других правомочных участников. Последующие опубликование и рассылка трудов Конференции будут обеспечены в соответствии с практикой Организации Объединенных Наций, как это установлено ее Издательским комитетом.

МЕСТНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В СЕЛЬСКИХ РАЙОНАХ

А.Г.Захарин -доктор технических наук, руководитель Отдела Общей энергетики Энергетического института им. Г.М. Кржижановского

Электрификация сельских районов, удаленных от промышленных центров в ряде случаев осуществляется путем строительства малых электростанций - гидроэлектростанций на небольших реках и тепловых электростанций на местном или привозном топливе. От одиночных мелких электростанций мощностью в несколько сот киловатт могут быть электрифицированы освещение, отдельные производственные процессы, требующие небольшой мощности. В Советском Союзе на первых этапах сельской электрификации такие электростанции во многих районах работали весьма эффективно. Они позволили накопить опыт сельской электрификации и оказали значительную помощь в деле общего технического и культурного прогресса удаленных сельских районов.

Однако, по мере внедрения энергии в производство и быт, увеличения единичной мощности электродвигателей, роста числа потребителей, одиночные мелкие электростанции не могут обеспечить экономичного и качественного электроснабжения сельских районов. В сетях одиночных электростанций мощностью до 200-300 квт при работе электродвигателей мощностью 15-20 квт резко колеблются напряжения и частота тока, пуск таких электродвигателей затруднен. Мелкие тепловые электростанции, как правило, имеют относительно высокую себестоимость электроэнергии и требуют большого количества обслуживающего персонала, особенно при работе на местном твердом топливе. Энергия малых гидроэлектростанций значительно дешевле. Однако сток на таких станциях по экономическим соображениям обычно мало зарегулирован и их выработка резко снижается в маловодные периоды. Поэтому они не могут обеспечить эффективного использования энергии рек при удовлетворительном качестве электроснабжения. Например, на одиночных малых гидростанциях равнинных рек СССР при использовании всего около 20% энергии стока среднего по водности года, обеспеченность энергией потребителей составляет лишь 70-80%.

Указанные выше недостатки малых электростанций в значительной мере устраняются при их об"единении в местную энергосистему. Если в сельском районе было построено несколько небольших станций, то их об"единение,

с соответствующим увеличением общей рабочей мощности, позволяет стабилизировать режим напряжения и частоты при пуске и работе более крупных электродвигателей. График нагрузки уплотняется и поэтому имеется возможность присоединить новых потребителей без установки новых агрегатов. /Так,например, на Урале после об"единения двух сельских электростанций мощностью по 250 квт, присоединенная мощность потребителей возросла на 20%./. Бесперебойность электроснабжения может быть обеспечена при значительно меньших затратах, так как имеется возможность взаимного резервирования станций. Улучшается режим работы агрегатов, значительно повышается использование стока рек - за счет работы гидроэлектростанций в базисе суммарного графика нагрузки в многоводные сезоны.

Как показал опыт работы местных энергосистем в сельских районах Советского Союза, при суммарной мощности энергосистемы от нескольких сотен до нескольких тысяч квт эти преимущества дают значительный эффект. Если электрические линии, связывающие электростанции, могут быть выполнены на распределительном напряжении /6-20 кв/, то расходы по об"единению окупаются в очень короткие сроки. В отдельных случаях может оказаться целесообразным и применение более высоких напряжений/35кв./.

В районах, располагающих благоприятными условиями для строительства местных гидроэлектростанций, но без возможности, по экономическим соображениям, в достаточной мере зарегулировать сток реки- эффективно создание местных энергосистем, об"единяющих одну или несколько /каскад/ гидроэлектростанций.с тепловой электростанцией. Тепловая электростанция в такой энергосистеме не только вырабатывает дополнительную энергию в маловодные сезоны, но и участвует всей своей рабочей мощностью в покрытии максимума суммарного графика нагрузки /без дублирующей рабочей мощности/. В маловодные сезоны она работает круглосуточно в базисной части графика нагрузки; в многоводные сезоны в базисе работают гидроэлектростанции, а тепловая электростанция перемещается в пиковую часть графика. Наилучшим образом для такой работы приспособлены дизельные электростанции. Показатели системы улучшаются, если имеется возможность создания водохранилищ сезонного регулирования, особенно в верхней части каскада. Для удвоения по сравнению с меженным стоком выработки гидроэнергии на малых гидростанциях в основных сельских районах СССР, например, требуются водохранилища с энергоемкостью порядка 10-15% от потенциальной энергии каскада в средний по водности год.

В СССР в первых местных энергосистемах использование гидроэнергии увеличилось в 1,5-2 раза, средняя себестоимость энергии снизилась на 30-45% по сравнению с одиночной работой только за счет перераспределения нагрузки между станциями, уплотнения графика нагрузки, сокращения персонала. Повышение экономичности сопровождалось резким улучшением качества и надежности электроснабжения.

При охвате сельских районов сетями крупных энергосистем местные энергосистемы присоединяют к этим сетям. В этих случаях гидростанции могут работать по водотоку с постоянным открытием турбин, используются в качестве источников реактивной энергии, резервных или пиковых станций, разгружая электрические сети промышленных энергосистем.

Одним из примеров эффективного использования местных ресурсов может служить Корсунь-Шевченковская местная энергосистема на Украине. Эта система была создана в период, когда сети районных энергосистем не охватывали сельских районов. Был осуществлен каскад из 4-х гидростанций общей мощностью 5600 квт, при общем используемом напоре 36 м, соединенных линиями электропередачи 20 кв и 35 кв между собою и с тепловой электростанцией расположенного поблизости промышленного предприятия. Это обеспечило возможность использования 30-35% среднегодового стока реки при бесперебойном электроснабжении всех потребителей. Управление энергосистемой осуществлялось из центрального диспетчерского пункта с помощью телефонной высокочастотной связи по проводам высоковольтных линий; была установлена система телемеханизации по высокочастотным каналам связи, позволившая значительно сократить количество обслуживающего персонала.

В течение первых пяти лет эксплуатации энергосистемы выработка электроэнергии на гидроэлектростанциях возросла на 70%, а себестоимость электроэнергии снизилась на 52%. Поэтому, когда впоследствии район был присоединен к мощной украинской энергосистеме, гидростанции местной системы были сохранены в эксплуатации, как вполне экономичные предприятия. За годы их эксплуатации было электрифицировано 106 колхозов и совхозов, работало 1490 электродвигателей /на мельницах, орошении, на животноводческих фермах, в местной промышленности/ с общей мощностью 8930 квт; количество присоединенных ламп составило около 40 тыс. штук, а потребление электроэнергии только сельскохозяйственными потребителями в 1957 году было равно 12 млн. квтч. Экономия, полученная за счет использования электроэнергии от начала электрификации до присоединения к мощной энергосистеме, полностью оправдала затраты на строительство гидроэлектростанций.

В некоторых районах СССР местные энергосистемы развиваются и в настоящее время. К их числу относятся предгорные и горные сельские районы Киргизской ССР, где дешевые гидростанции с напорами в несколько десятков метров, сооружаемые в комплексе с оросительными системами, имеют неудовлетворительные условия для регулирования стока. При работе в системе они могут обеспечивать экономичное и надежное электроснабжение.

Расчеты по выбору числа и типов об"единяемых электростанций, мощности отдельных электростанций, пропускной способности связывающих их электрических линий производятся на основе сведений о размещении, величине и режимах нагрузки, данных о режиме стока и напорах в намечаемых створах гидростанций и регулирующих водохранилищ и ориентировочных экономических показателей электро-

станций /стоимость киловатта установленной мощности и себестоимость электроэнергии для различных установленной мощности и числа часов ее использования/.

Выбор размеров и структуры энергосистемы должны предшествовать разработке проектов отдельных электростанций /с последующим уточнением/. Верхний предел мощности местной энергосистемы обычно ограничивается возможностью ее осуществления на напряжении не свыше 35 кв /по стандарту СССР/. Нижний предел определяется обеспечением стабильного режима работы энергосистемы; для мощности отдельных короткозамкнутых двигателей не свыше 15-20 квт, суммарная мощность энергосистемы должна быть не менее 300 квт; при мощности отдельных двигателей в 40-50 квт мощность системы должна быть не менее 700 квт. Обычно рекомендуется об"единение в одну энергосистему не свыше 5-6 электростанций. При выборе размеров местных энергосистем необходимо также учитывать условия электроснабжения соседних районов. Если в соседних районах условия менее благоприятны, мощность системы следует увеличивать в пределах, при которых дополнительно вырабатываемая энергия системы дешевле энергии источников электроснабжения в соседних районах.

В энергосистемах с значительной долей гидроэлектростанций основными параметрами при энергетических расчетах являются следующие величины:

1. Относительная величина установленной мощности гидроэлектростанции $f = N_г/N$, где $N_г$ - установленная мощность. N - среднемноголетняя мощность водотока в створах гидроэлектростанции.

2. Показатель структуры энергосистемы из гидростанций и тепловых станций по мощности $x_г = \frac{N_г}{N_г + N_т}$, где $N_т$ - мощность тепловых станций /или станции/.

3. Показатель использования энергии водотока определяется как отношение выработки гидроэнергии $W_г$ к потенциальной энергии водотока W за рассматриваемый период: $\eta = W_г/W$.

4. Показатель обеспеченности потребителей электроэнергией /в заданном режиме/ P_w - представляет отношение полезной выработки энергосистемы без дублирующей рабочей мощности к требуемой по графику нагрузки $W_{тр}$. P_w зависит от структуры системы и режимов электропотребления и этим отличается от показателя обеспеченности по времени P_t, обычно принимаемого в гидроэнергетических расчетах. Если принять за единицу энергию / $W_{тр} = 1$/, требующуюся в данный период при заданных нагрузке и режимах потребления, то показатель P_w будет выражать фактическую выработку энергосистемы без дублирования рабочей мощности в соответствии с заданным режимом, а разность /1 - P_w / - относительное количество энергии, которое либо должно быть произведено дублирующей мощностью, либо отпущено потребителям-регуляторам, допускающим в необходимых пределах регулирование режима электропотребления. Для местных энергосистем с участием тепловых электростанций экономичные решения могут быть получены /в отличие от одиночных гидроэлектростанций/ при высоких значениях $P_w = 0{,}92 - 0{,}97$ и более. Следует учитывать, что не-

значительное /в пределах 3-8%/ регулирование режима потребления позволяет значительно увеличить выработку гидроэнергии. Показатели P_{w} и h, зависящие друг от друга, можно определять для сезона, года или для многолетнего периода.

Введение в расчеты местных энергосистем показателя P_{w} позволяет, при заданных режимах потребления электроэнергии и стока реки, связать между собою четыре основных энергетических параметра системы /f, x_r, h, P_{w}/. На рис. 1а приведена энергетическая характеристика для малых рек средней полосы Советского Союза. На характеристике в координатах h, P_{w} построены изолинии структуры системы и установленной мощности гидроэлектростанций.

Из характеристики, например, следует, что для одиночной гидростанции /кривая со значением $x_r = 1$/ при условии обеспечения потребителей энергией по заданному графику в пределах 90-100% / $P_{w} = 0,9 - 1$/ энергия стока реки используется примерно всего на 20% / $h = 0,2$/. Увеличение использования стока реки до 40-50% и выше приводит к снижению энергообеспеченности до 60-70% / $P_{w} = 0,6-0,7$/. При объединении гидростанции с тепловой станцией равной мощности / $x_r = 0,5$/ использование энергии стока может быть увеличено в два-три раза / $h = 0,4- 0,5$ при $f = 0,3-0,4$/ при высоких показателях $P_{w} = 0,95 - 1$. Все другие энергетические показатели энергосистемы для одного периода времени могут быть выражены через четыре основные / f, x_r, h, P_{w} / и коэффициент равномерности потребления электроэнергии γ. Средняя многолетняя выработка энергии при заданном графике нагрузки в энергосистеме за год равна: $W_c = 8760 P_{w} P \gamma$

где P - максимальная мощность нагрузки энергосистемы;

γ - коэффициент равномерности потреблений энергии, равный отношению среднегодовой мощности нагрузки к максимальной.

Средняя многолетняя выработка гидроэнергии за год составляет $W_r = 8760 h \cdot N = 8760 N_r f$. Показатели использования установленной мощности гидростанций и тепловых станций h_T в системе:

$$h_r = \frac{W_r}{N_r T}; \quad h_T = \frac{W_c - W_r}{N_T \cdot T} = \frac{\gamma P_{w} - x_r h_r}{1 - x_r}$$

где T - время работы станций.

При проектировании энергосистемы при заданной мощности тепловых станций, расчетный расход и мощность гидростанции могут быть определены из гидрографов реки для годов малой водности /90% обеспеченности, $P_t = 0,9$/ и средней / 50% обеспеченности, $P_t = 0,5$%. В СССР для года средней водности принимается $=1$ и для года малой водности $P_{w} = 0,7$. Меньший из двух расходов полученный из этих условий - является расчетным.

Когда источником регулирующей энергии в системе только из гидростанций являются водохранилища, $x_r = 1$ и система характеризуется показателем энергоемкости водохранилищ $\beta = V_0 / W$, где V_0 - энергоемкость водохранилищ; W - потенциальная энергия в створах станций каскада в средний год. Энергетическая характеристика

для этого случая показана на рисунке 1б.

Режимы отдельных станций, а также способы регулирования и управления системой выбираются с учетом требований экономичного использования энергетических ресурсов, сокращения потерь и поддержания заданных уровней напряжения и частоты. Оперативное управление станциями осуществляется с диспетчерского пункта. Контролируемыми параметрами являются активная и реактивная мощность, напряжение, а также уровни бьефов гидростанций.

По признаку регулирования активной мощности все агрегаты системы разделяют на автоматически регулируемые по скорости /по числу оборотов/ и регулируемые по мощности /работа с постоянным открытием направляющего аппарата турбин/. Доля агрегатов, регулируемых по скорости, зависит от полноты суточного графика нагрузки и конфигурации системы. Нижний предел доли регулируемых по скорости агрегатов обычно принимается 50-60%, но в ряде случаев его повышают до 70-80%.

В качестве регулируемых по скорости /и поддержанию частоты/ выбираются наиболее крупные станции и агрегаты системы, для которых работа в переменном режиме не связана с большими дополнительными потерями энергии. Регулирование по мощности осуществляется на небольших электростанциях, на которых упрощение обслуживания улучшает их экономику.

Местные энергосистемы ввиду незначительных размеров обладают большим запасом устойчивости и могут работать вполне надежно при простых конструкциях регуляторов, а иногда без автоматического регулирования оборотов и возбуждения. Для систем мощностью выше тысячи киловатт проверка статистической устойчивости требуется в послеаварийных режимах при отключении свыше 15-20% генерирующей мощности. Проверяется устойчивость методом последовательных интервалов по критериям

Динамическая устойчивость местных энергосистем определяется надежностью основных связей между станциями и применяемой защитой, для повышения устойчивости системы, при коротких замыканиях и при авариях генераторов, помимо регуляторов возбуждения и частоты, рекомендуется автоматические форсировки возбуждения и разгрузка по частоте, а также быстрое отключение короткого замыкания, допуская в некоторых случаях неселективное отключение. При мощности системы в несколько сот киловатт нарушение устойчивости может быть при пуске короткозамкнутых асинхронных двигателей, мощность которых соизмерима с мощностью отдельных генераторов системы. В этом случае напряжение падает и может наблюдаться явление "лавины напряжения" с остановкой всех работающих двигателей и полной потерей напряжения. Наименьшие мощности системы, выше которых устойчивость в рабочих режимах будет обеспечена при постоянстве возбуждения генераторов, отмечались выше. Применение устройств, форсирующих возбуждение, может значительно снизить указанные мощности.

539 R - Oct.1962 - 600